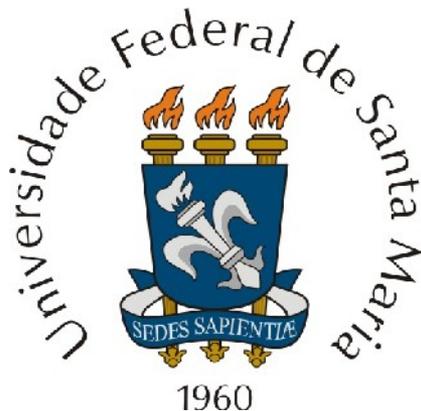


Protocolos RTCM-SC104: desenvolvimento histórico e características das versões, aspectos de codificação e decodificação.

I Workshop RBMC

São Paulo, 19 de junho de 2013



Eno Darci Saatkamp

Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Setor de Geodésia e Topografia
Santa Maria – RS – Brasil

RTCM SC-104

- Breve histórico e versões
- Principais elementos que compõe as versões 2.x e 3.x (versões e suas revisões)
- Como decodificar a versão 2.x (do ASCII à montagem binária do quadro de palavras, e então ao correspondente valor decimal do campo de dado);
Codificação = processo inverso
- Breve avaliação da redundância de informação e possibilidades de redução de dados RTCM 2.x para transmissão por meio de baixa capacidade (e.g. pelo RDS -*Radio Data System*).

RTCM: breve histórico e generalidades

- **O que é?** Uma organização internacional científica, profissional e educacional, sem fins lucrativos  os membros RTCM são grupos ou organizações governamentais e não governamentais
- Iniciou em 1947 como um comitê consultivo do governo dos Estados Unidos ...
 atualmente é uma organização independente mantida/apoiada por membros do mundo todo.

RTCM: breve histórico e generalidades

- Comitês especiais (*Special Committees - SC*)
RTCM são formados para prover especialidades técnicas em áreas específicas de demanda

 **Objetivo:** produzir documentos na forma de padrões.

RTCM: Special Committees (SC)

- SC 101 on Digital Selective Calling (DSC)
- Joint SC 101/110 on GPS Equipped Hand Held VHF Radios
- **SC 104 on Differential Global Navigation Satellite Systems (DGNSS)**
- SC 109 on Electronic Charts
- SC 110 on Emergency Beacons
- SC 117 on Maritime VHF Interference
- SC 119 on Maritime Survivor Locator Devices
- SC 121 on Automatic Identification Systems and digital Messaging
- SC 123 on VHF-FM Digital Small Message Services
- SC 127 on Enhanced Loran (eLoran)
- SC 128 on Satellite Emergency Notification Device

RTCM SC-104: evolução das versões e revisões

Versão	Ano	Tipos de mensagem principais	Aplicação	Atende
1.0	1985	? (problemas com a implementação)	DGPS	GPS
2.0	1990	1,2,3,16,59	DGPS	GPS
2.1	1994	2.0 + 18,19,20,21	DGPS+RTK	GPS
2.2	1998	2.1 + 31 a 36 (para GLONASS)	DGPS+RTK	GPS e GLONASS
2.3	2001	2.2 + 23 (tipo de antena) +24 (ARP)	DGPS+RTK	GPS e GLONASS
3.0	2004	Mensagens “reformuladas” (1001, 1002, ...)	RTK	GPS e GLONASS
3.1	2006 (2009)	3.0 + correções RTK em rede	RTK em rede	GPS e GLONASS
3.2	2013	3.1 + 5 emendas 3.0 + MSM (mensagem de múltiplos sinais)	RTK em rede	GNSS

RTCM SC-104: formato de mensagem

- Os dados RTCM são transmitidos na forma de um **fluxo binário de dados**. Tipicamente, um registro completo de dados (quadros) RTCM é transmitido a cada segundo;
- **Um registro de dados RTCM é composto por diversas mensagens**. O conteúdo de **cada mensagem** tem um **número identificador** e **campos de dados** normalmente predefinidos;
- Cada quadro de mensagem dentro de um registro de dados compreende duas palavras de **cabeçalho da mensagem** e um número variável de palavras que formam o **corpo da mensagem**;
- **Cada mensagem é formada por palavras de 30 bits**, compostas por **24 bits de dados** e **6 bits de paridade** (para verificação de erro)

Primeiras duas palavras (cabeçalho) de cada tipo de mensagem RTCM 2.x

PRIMEIRA PALAVRA DE CADA MENSAGEM

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Preâmbulo								Tipo				Identificação da Estação								Paridade										
0	1	1	0	0	1	1	0	MSB				LSB		MSB																

SEGUNDA PALAVRA DE CADA MENSAGEM

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Contador Z modificado													No. da seq.		Comp. do quadro		Saúde da estação		Paridade										
MSB												LSB																	

que
leg
• Te

Fator
de
Escala

Palavras 3, 8, 13 ou 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
UDRE			SATID					PRC										Paridade											

Palavras 4, 9, 14 ou 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RRC				IODE						UDRE		SATID				Paridade													

Fator
de
Escala

Palavras 5, 10, 15 ou 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PRC										RRC						Paridade													

Palavras 6, 11, 16 ou 21

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
IODE				UDRE		SATID				PRC (Byte superior)				Paridade															

Fator
de
Escala

Palavras 7, 12, 17 ou 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PRC (Byte inferior)				RRC						IODE						Paridade													

- o
- o
- o

Última palavra, se o número de satélites for 1, 4, 7 ou 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RRC				IODE						Preenchimento 1 0 1 0 1 0 1 0				Paridade															

Última palavra, se o número de satélites for 2, 5, 8 ou 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
IODE				Preenchimento 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0										Paridade															

mestre

Quadro de
palavras da
mensagem
RTCM 2.x
tipo 1
(correções
diferenciais)

Tipos de mensagem RTCM SC-104 v. 2.3

- Pág. 50 - RTCM 2.3

Decodificação RTCM 2.x – Regras de interface da camada de transporte

- O formato de dados para GNSS diferencial foi padronizado de forma semelhante ao formato dos dados GPS. As principais razões são (ou foram):
 - Um forte algoritmo de paridade é necessário para detectar erros nos dados, prevendo o uso de correções incorretas que poderiam afetar a segurança do usuário;
 - O algoritmo de paridade GPS é conhecido e bem testado, o qual é “familiar” e já codificado no programa de processamento do receptor;
 - O algoritmo de paridade sobrepõe as fronteiras da palavra e resolve ambiguidades de sinal encontradas na transmissão com modulação bifásica (BPSK);
 - Palavras de 30 bit acopladas a uma taxa de transmissão 50 Hz permitem uma sincronização conveniente, uma vez que as fronteiras das palavras são múltiplas de 0,6 s. A fronteira de cada 5ª palavra recai num múltiplo de 3 s. Se palavras de 32 bits fossem usadas, as fronteiras das palavras sincronizariam uma vez apenas a cada 16 s.

Decodificação RTCM 2.x – Regras de interface

- O formato de dados para GNSS diferencial foi padronizado similarmente aos dados GPS

 facilita a introdução de enlaces de comunicação puramente síncronos entre a estação de referência e equipamentos usuários

Mas infelizmente:

- No GPS/RTCM 2.x: bits mais significantes (MSB) são transmitidos primeiro;
- O padrão ANSI X3.15-1976 estabelece que o primeiro bit é o menos significativo (LSB) - (praticamente todos os circuitos integrados desenvolvidos para comunicação serial seguem esta convenção)

 necessidade de uma reversão de byte prévia à saída no equipamento da estação de referência, e novamente assim que ingressar no equipamento GPS usuário.

Decodificação RTCM 2.x – regras de interface

- RTCM 2.x usa esquema “6 de 8” bits de um byte para dados  cada **palavra** GPS ou RTCM 2.x usa **5 bytes** (5 bytes x 6 bits/byte = **30 bits = 1 palavra**).

Exemplo da primeira palavra cabeçalho de uma mensagem tipo 1:

Caracter ASCII lido pela porta de comunicação serial	Valor correspondente em código decimal (d)	Valor em código Hexadecimal (h)	Valor em código binário (b)	Bits Revertidos (LSB↔MSB)	6 de 8 bits usados na composição da palavra (bits de dados)
Y =	89d =	59h =	01011001b =>	10011010 →	100110
~ =	126d =	7Eh =	01111110b =>	01111110 →	011111
} =	125d =	7Dh =	01111101b =>	10111110 →	101111
_ =	95d =	5Fh =	01011111b =>	11111010 →	111110
C =	67d =	43h =	01000011b =>	11000010 →	110000

Decodificação RTCM 2.x

A primeira palavra RTCM 2.x de 5 byte resulta, em código binário:

6 de 8 bits
Usados na
composição
da palavra
(bits de
dados)

100110

011111

101111

111110

110000

Bits concatenados que formam a palavra (30 bits)

24 bits de dados

6 bits de paridade

100110011111101111111110110000

Detalhe do esquema de paridade: todos os bits da palavra podem estar invertidos ($0 \Leftrightarrow 1$), se o 30º bit (último bit de paridade) da palavra anterior for 1.

$$D_1 = d_1 \oplus D_{30}^*$$

$$D_2 = d_2 \oplus D_{30}^*$$

$$D_3 = d_3 \oplus D_{30}^*$$

•
•
•
•

$$D_{24} = d_{24} \oplus D_{30}^*$$

$$D_{25} = D_{29}^* \oplus d_1 \oplus d_2 \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_{10} \oplus d_{11} \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{17} \oplus d_{18} \oplus d_{20} \oplus d_{23}$$

$$D_{26} = D_{30}^* \oplus d_2 \oplus d_3 \oplus d_4 \oplus d_6 \oplus d_7 \oplus d_{11} \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{18} \oplus d_{19} \oplus d_{21} \oplus d_{24}$$

$$D_{27} = D_{29}^* \oplus d_1 \oplus d_3 \oplus d_4 \oplus d_5 \oplus d_7 \oplus d_8 \oplus d_{12} \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{19} \oplus d_{20} \oplus d_{22}$$

$$D_{28} = D_{30}^* \oplus d_2 \oplus d_4 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_8 \oplus d_9 \oplus d_{13} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{17} \oplus d_{20} \oplus d_{21} \oplus d_{23}$$

$$D_{29} = D_{30}^* \oplus d_1 \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_7 \oplus d_9 \oplus d_{10} \oplus d_{14} \oplus d_{15} \oplus d_{16} \oplus d_{17} \oplus d_{18} \oplus d_{21} \oplus d_{22} \oplus d_{24}$$

$$D_{30} = D_{29}^* \oplus d_3 \oplus d_5 \oplus d_6 \oplus d_8 \oplus d_9 \oplus d_{10} \oplus d_{11} \oplus d_{13} \oplus d_{15} \oplus d_{19} \oplus d_{22} \oplus d_{23} \oplus d_{24}$$

Onde:

d_1, d_2, \dots, d_{24} são os bits de dados fonte ;

o símbolo \star é usado para identificar os 2 últimos bits da palavra anterior ;

$D_{25}, D_{26}, \dots, D_{30}$ são os bits de paridade calculados ;

$D_1, D_2, \dots, D_{29}, D_{30}$ são os bits transmitidos ;

\oplus é a operação de soma 'módulo-2' ou 'ou exclusivo'.

estre

Equações de
codificação
da paridade

Fonte: ICD-
GPS-200C
(1993, p.
136)

Decodificação RTCM 2.x

$Y \sim \}_{_} CtOiDxg\}_{\frac{1}{2\pi}} qC@@@JJz@j \sim oUhCx_PcApE`o|\frac{1}{2\pi} FT@`L\frac{1}{2\pi} ^_ [A`J]UUUA$
 $fAB`|KP\{MXB@N|\frac{1}{2\pi}\frac{1}{2\pi} uuE\frac{1}{2\pi} UA`qW|G`JcBpE\frac{1}{2\pi} o|\frac{1}{2\pi} Fq\frac{1}{2\pi} _s@D_ [APtbjjj\sim$
 $Y \sim \}_{_} CtomDAXB@N|\frac{1}{2\pi}\frac{1}{2\pi} uuE\frac{1}{2\pi} UA`qW|G`JcBpE\frac{1}{2\pi} o|\frac{1}{2\pi} Fq\frac{1}{2\pi} _s@D_ [N` }bjjj\sim$
 $Y \sim \}_{_} Ct_bDwg\}_{\frac{1}{2\pi}} qC@@@JJz@jqoGhCx_u|\frac{1}{2\pi} Ozlo|\frac{1}{2\pi} ff\frac{1}{2\pi} _s@a`dyo`bjjj[$
 $fAB`Yt_kDag\}_{\frac{1}{2\pi}} ll@@@JJz@jq_ \hCx_Pc@pEvo|\frac{1}{2\pi} fC@`L\frac{1}{2\pi} \{`dyeE]UUUA$
 $fAB`|K`X\{YXB@vv\frac{1}{2\pi}\frac{1}{2\pi} uuE\frac{1}{2\pi} UN`cW|G`o||OzHPC@Y|\frac{1}{2\pi} _s@D_ [J`C]UUUA$
 $fAB`|K@Q\{mg\}_{\frac{1}{2\pi}} ll@@@JJz@jqoGhCx_u||Ozmo|\frac{1}{2\pi} ff\frac{1}{2\pi} _s@a`duoB]UUUA$
 $fAB`|K@^{\{\frac{1}{2\pi} g\}_{\frac{1}{2\pi}} ll\frac{1}{2\pi}\frac{1}{2\pi} uu` @jq_yW|G`JCCpERPC@YY@`L\frac{1}{2\pi} ^_ [JP}bjjj\sim$
 $Y \sim \}_{_} CL@hDl\}_{\frac{1}{2\pi}} ll@@@JJz@jqoGhCx_u||Ozmo|\frac{1}{2\pi} ff\frac{1}{2\pi} _s@a`du_Y]UUUd$

011001100000010000000001110000 preamble=GPS; type=1; Station ID=1; parity
001011111100100101001000000111 MZCount; Seq.Nr.; Frame length; Station health
000110010000000000011100110000 Scale fctr; UDRE; Satellite ID; PRC
000000000000010100010100010111 RRC; IOD; repete sequencialmente os mesmos
1111110101010100000000010101010 campos para cada satelite rastreado.
000101110000000111111110000010
110001100000000011101000000001

No. de bits: 330		Stid: 1	MZcount: 917.4		
Sat: 25	UDRE: 0	IOD: 5	PRC: 0.56	RRC: 0.000	
Sat: 20	UDRE: 0	IOD: 23	PRC: -6.88	RRC: 0.004	
Sat: 1	UDRE: 0	IOD: 232	PRC: -6.28	RRC: 0.000	
Sat: 11	UDRE: 0	IOD: 19	PRC: 0.78	RRC: 0.000	
Sat: 31	UDRE: 1	IOD: 186	PRC: -23.52	RRC: 0.002	

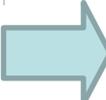
Decodificação RTCM 2.x

Exemplo de decodificação do valor de correção da pseudodistância (PRC)

PRC binário	Se 1º bit=1 => valor negativo => fazer complemento de dois	Valor decimal	Fator de escala	Valor PRC final em meters
1111110011001010	000001100110110	$0 \cdot 2^{14} + 0 \cdot 2^{13} + 0 \cdot 2^{12} + 0 \cdot 2^{11} + 0 \cdot 2^{10} + 1 \cdot 2^9 + 1 \cdot 2^8 + 0 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0 =$ $0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 512 + 256 + 0 + 0 + 32 + 16 + 0 + 4 + 2 + 0 = \mathbf{822}$	0.02 m	$(-822) \cdot 0.02 =$ $= \mathbf{-16,44 \text{ m}}$

Redução de dados RTCM 2.x

- redundância ou dados “desnecessários” (bits):
 - ✓ *Paridade bits: 6 de cada 24 bits*
 - ✓ *Preâmbulo: 8 bits*
 - ✓ *Tipo da mensagem: 1 bits*
 - ✓ *Sequencia (nº ordem) da mensagem: 3 bits*
 - ✓ *Comprimento do quadro: 5 bits*
 - ✓ *MZCount compreendendo 1 minuto ao invés de 1 hora: redução de 13 para 7 bits*

 **redução do nº de bits pela metade ou mais.**

Características que motivam queixas sobre a versão 2.x

- esquema ineficiente de verificação de integridade de cada palavra (24 bits de dados + 6 bits de paridade (20%))
- paridade não independente em cada palavra
- mesmo com um pedaço de cada palavra dedicada à integridade, não era realmente tão alta como deveria ser
- Palavras de 30 bits não são adequadas para “manipular” (codificar/decodificar), pois não são múltiplas de um byte padrão de oito bits

 Desejo dos prestadores de serviços e fornecedores representados no comitê SC104: novo padrão mais eficiente, mais fácil de usar e mais facilmente adaptável a novas necessidades.

PADRÃO RTCM 10403.x (DIFFERENTIAL GNSS SERVICES)

Novo padrão (3.x) com diversas novas mensagens

- ✓ Alternativa com largura de banda de transmissão mais eficiente que a versão 2.x;
- ✓ Usa byte padrão, sem reversão de bits
 - ➔ maior integridade (menos problemas de sincronização).
- ✓ Desenvolvido prioritariamente para suportar operações cinemáticas em tempo real (RTK);
- ✓ incorpora correções de referencias em rede.

PADRÃO RTCM 10403.x – Histórico e características

- Versão totalmente remodelada (mensagens não compatíveis com a versão 2.x)
- Ao contrário da versão 2.x, não possui mensagens-tentativa reservadas. Todas as mensagens foram submetidas a testes de validade e interoperabilidade, e são consideradas permanentes.
- Alterações à norma podem mudar o significado de bits reservados, mas nenhuma alteração será feita nos campos de dados. Mudanças exigirão novas mensagens a serem desenvolvidas → **o comitê continua a desenvolver novas mensagens, que são descritas nas alterações publicadas separadamente, e são reunidas periodicamente para uma nova edição (rev.) da norma.**

PADRÃO RTCM 10403.0 – Características

- A edição inicial (versão 3.0) consistia principalmente de mensagens destinadas a apoiar as operações cinemáticas em tempo real (RTK). A razão para essa ênfase é que a operação RTK envolve a transmissão de uma grande quantidade de informações e, portanto, beneficia mais de um formato de dados eficiente.
- Provê mensagens que possibilitam operações RTK GPS e GLONASS, incluindo observáveis código e portadora, parâmetros de antena, e parâmetros de sistemas auxiliares.

PADRÃO RTCM 10403.1 – Características

- A próxima edição, versão 3.1, incorporou correções GPS de estações em rede → possibilitam posicionamento RTK numa grande área de abrangência.
- Novas mensagens de parâmetros orbitais GPS e GLONASS para auxiliar na inicialização rápida.
- Mensagem de texto Unicode para a transmissão de dados textuais.
- Conjunto de mensagens reservadas para os vendedores que querem encapsular dados proprietários em suas transmissões.

PADRÃO RTCM 10403.1 – Emendas

- Emenda 1: adiciona mensagens RTCM contendo dados de transformação e informações sobre os sistemas de referência → os usuários do serviço RTK podem obter seus resultados no sistema ou referencial desejado, sem operações manuais
- Emenda 2: adição de mensagens de erro residual para apoiar o uso de estações de referência não-físicas em um ambiente de rede RTK
- Emenda 3: documenta a forma como diferentes fabricantes têm tratado a questão de mudança de fase, e prescreve uma abordagem uniforme para produtos futuros.

PADRÃO RTCM 10403.1 – Emendas

- Emenda 4: adiciona seções sobre mensagens de correção RTK GLONASS e de parâmetros FKP
- Emenda 5: adiciona seção sobre Representação no Espaço de Estados (State Space Representation – SSR), além de revisões e algumas correções editoriais.

PADRÃO RTCM 10403.2 (fev/2013)

- consolida a versão 3.1 e as cinco emendas em uma nova edição
- acrescenta mensagens de múltiplos sinais (MSM – *Multiple Signal Message*), um formato genérico que atenderá todos os sistemas GNSS

(a versão 3 originalmente consistia de mensagens para GPS e GLONASS, cada um em seu próprio formato. Com a adição de sinais do iminente Beidou, do Galileu e do QZSS, bem como novos sinais fornecidos pelo satélites GPS e GLONASS modernizados, a necessidade de um formato genérico consistente tornou-se evidente)

PADRÃO RTCM 10403.2 (fev/2013)

- **Observação final:** uma vez que há muitos equipamentos (receptores) projetados e programados para trabalhar com a versão 2.x (e não preparados para a versão 3.x), **a RTCM mantém as duas versões**, a **10402.3** e a **10403.2**, como padrões ativos.

Referências:

- **ICD-GPS-200C – Interface Control Document. NAVSTAR GPS Space Segment/Navigation User Interfaces. Arinc Research Corporation, CA, 1993.**
- **RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Services: Special Committee nº 104. RTCM 10402.3: Recommended Standards for Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Service. Virginia, USA, 2001.**
- **RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Services: Special Committee nº 104. RTCM STANDARD 10403.1: Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3. Virginia, USA, 2009.**
- **RTCM – Radio Technical Commission for Maritime Services: Special Committee nº 104. RTCM STANDARD 10403.2: Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services – Version 3. Virginia, USA, 2013.**



Troca do receptor NetRS pelo receptor NetR8 na estação RBMC SMAR (14/Maio/2013)

Agradecemos à equipe RBMC/IBGE pelo convite em participar deste I Workshop.

